

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.04, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08 сентября 2022 протокол № 2

О присуждении Беловой Ирине Анатольевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Фотоэлектрическая система генерирования на базе полупроводникового преобразователя с нейросетевой системой управления» по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 25 апреля 2022 г., протокол № 4, диссертационным советом Д.212.173.04, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Белова Ирина Анатольевна 9 декабря 1991 года рождения, в 2015 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, получив степень магистра по направлению «Электроника и нанoeлектроника». В 2019 году получила диплом об окончании аспирантуры по направлению «Электро- и теплотехника» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Работает младшим научным сотрудником в Центре технологического превосходства и по совместительству ассистентом кафедры Электроники и электротехники в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре Электроники и электротехники в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Зиновьев Геннадий Степанович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры Электроники и электротехники.

Официальные оппоненты:

Гарганеев Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), профессор отделения Электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики;

Волков Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), ведущий инженер НТЦ Автономная энергетика;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), г. Томск

в своем положительном заключении, подписанном Михальченко Сергеем Геннадьевичем доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой

Промышленная электроника и утвержденном Рулевым Виктором Михайловичем доктором технических наук, доцентом, ректором **указала, что** диссертация Беловой И.А. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, содержит решения важной научно-технической задачи по исследованию перспективных фотоэлектрических систем генерирования. Представленная работа обладает научной и практической значимостью, результаты работы в достаточной степени представлены в научных трудах автора. Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявленным п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в редакции от 11.09.2021 г.), а ее автор Белова Ирина Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 22 опубликованные работы по теме диссертации, из которых 2 опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, 11 публикаций, отмечены в наукометрических системах «Web of Science» и «Scopus», 9 публикаций в прочих изданиях (в том числе в материалах международных и всероссийских конференций). Автором получено 2 патента на изобретения и 2 свидетельства на программы ЭВМ. Авторский вклад в опубликованных работах составляет не менее 75%, общим объемом – 13,84 п.л. Недостоверные сведения об опубликованных работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Белова И.А., Мартинович М.В., Сколота В.А., Канюков И.И. Автономный преобразователь электрической энергии с интеллектуальной системой управления на основе искусственной нейронной сети для фотовольтаики // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2018. – №1(38). – С. 36-53;
2. Белова И.А., Мартинович М.В., Федорова Д.Ю. Источник искусственного освещения, имитирующий солнечный спектр, для тестирования солнечных батарей // Доклады ТУСУР. – 2021. – том 24, №4. – С. 19-24;

3. Neural network control algorithm for stand-alone solar cell electrical energy conversion system / Belova I.A., Martinovich M.V. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – 2015. – P. 387-390;
4. Application of photovoltaic cells with an intelligent control system for railway transport / Belova I.A., Martinovich M.V., Skolota V.A. // 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE 2016). – 2016. – P. 64-68;
5. Development synthesizer of stable high-frequency signal / Skolota V.A., Belova I.A., Martinovich M.V. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2016). – 2016. – P. 185-190;
6. Overview of technical means of implementation of neuro-fuzzy-algorithms for obtaining the quality factor of electric power / Skolota V.A., Belova I.A., Martinovich M.V. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2017). – 2017. – P. 469-472;
7. Neural network model of the solar battery / Belova I.A., Martinovich M.V., Skolota V.A. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2017). – 2017. – P. 417-421;
8. Buck DC-DC converter with neural network sawtooth-similar carrier signal generator / Martinovich M.V., Zaev I.V., Khoroshev M.A., Belova I.A., Skolota V.A. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2018). – 2018. – P. 629-634;
9. Maximum power point tracking methods for the solar battery / Belova I.A., Martinovich M.V., Skolota V.A., Zaev I.V. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – 2018. – P. 445-451;
10. Neural Network Load Current Observer for DC Converter / Martinovich M.V., Belova I.A., Skolota V.A., Zaev I.V. // 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering. – 2018. – P. 65-70;
11. Evaluation of the influence of distortion and measurement accuracy on the load current observer based on 19 artificial neural network / Martinovich M.V., Zaev I.V., Belova I.A., Skolota V.A. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2019). – 2019. – P. 421-427;

12. Optimization of artificial neural network learning for maximum power point tracking after the degradation of the solar battery / Belova I.A., Martinovich M.V., Zaeв I.V., Skolota V.A. // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2019). – 2019. – P. 415-420;

13. Modeling of a stand-alone photovoltaic system using an intelligent control system based on artificial neural network / Belova I.A., Martinovich M.V. // 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE 2021). – 2021. – P. 154-160;

14. Пат. 2 678 153 С2 РФ, МПК G06N 3/063. Схема нейрона / Сколота В.А., Белова И.А., Мартинович М.В. – №2017120077; заявл. 07.06.2017; опубл. 23.01.2019, Бюл. №34.

15. Пат. 2 769 039 С1 РФ, МПК H02J3/38. Устройство отслеживания точки максимальной мощности для инвертора с питанием от солнечных батарей / Мартинович М.В., Белова И.А. – №2021127864; заявл. 23.09.2021; опубл. 28.03.2022, Бюл. №10.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021619551. Формирование массива значений освещенности и температуры / Белова И.А., Мартинович М.В. – Заявка №2021618936. Дата поступления 15 июня 2021 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15 июня 2021 г.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021612372. Сбор данных о вольт-амперных характеристиках модели солнечной батареи / Белова И.А., Мартинович М.В. – Заявка №2021611423. Дата поступления 11 февраля 2021 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 февраля 2021 г.

На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва, все положительные:

1. Отзыв доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Электротехники и авиационного оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» **Халютина С.П.**, кандидата технических наук, доцента кафедры Электротехники и авиационного оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» **Савелова А.А.** – замечания связаны с отсутствием количественных показателей преимуществ предлагаемой искусственной нейронной сети по сравнению с другими методами отслеживания точки максимальной мощности, а также с недостаточно подробно описанным алгоритмом предлагаемой нейронной сети и отсутствием алгоритма заряда-разряда аккумуляторной батареи.

2. Отзыв кандидата технических наук, доцента кафедры Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» **Шайтора Н.М.** – связаны со сравнением с другими интеллектуальными методами отслеживания, пояснением применения нейросетевой модели солнечной батареи, а также с возможностью использования алгоритма онлайн-коррекции коэффициентов нейронной сети при замене солнечных батарей.

3. Отзыв доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Электроэнергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», **Пантелеева В.И.** – замечания связаны с вопросами обоснования количества слоев искусственной нейронной сети и требований по быстродействию системы управления.

4. Отзыв доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой Промышленной электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», **Асташева М.Г.**, кандидата технических наук, ассистента кафедры Промышленной электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», **Федоровой М.И.** – связаны с пояснением выбора функции активации и выборки для обучения искусственной нейронной сети, а также необходимостью пояснить принципы и алгоритмы прореживания обучающего массива.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью, наличием достижений в области силовой электроники, высокой компетентностью в сфере, связанной с исследованиями систем преобразования электрической энергии. Наличием публикаций в указанной области, а также возможностью дать научную оценку диссертационной работе. **Гарганеев Александр Георгиевич** – доктор технических наук, является специалистом в области исследования, разработки, проектирования и практической реализации электромеханических систем и автономных систем электроснабжения, методов синтеза алгоритмов и их управления. Имеет большое количество публикаций по темам близким к диссертационной работе. **Волков Александр Геннадьевич** – кандидат технических наук, крупный специалист по преобразовательной технике, сфера научных интересов и тематика исследований связана с системами генерирования на основе возобновляемых источников энергии. **ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»** известный созданием и внедрением собственных разработок, проводимыми исследованиями в области автономных энергетических установок и алгоритмов управления, а также занимающийся моделированием преобразовательной техники и повышением ее энергетической эффективности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны алгоритмические и схематические решения для отслеживания точки максимальной мощности солнечных батарей с высокой точностью и скоростью в фотоэлектрических системах генерирования на базе полупроводниковых преобразователей, а также методики создания и обучения искусственной нейронной сети для задачи отслеживания точки максимальной мощности солнечной батареи и создания нейросетевой модели солнечной батареи;

предложен комплекс новых технических решений, включающих в себя искусственные нейронные сети, направленных на повышение энергетической эффективности фотоэлектрических систем генерирования электрической энергии на базе полупроводниковых преобразователей;

доказана перспективность применения искусственных нейронных сетей в системах управления DC/DC и DC/AC полупроводниковыми преобразователями в фотоэлектрических системах генерирования электрической энергии;

новые понятия **не введены**.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана энергетическая эффективность применения предложенных алгоритмов управления DC/DC и DC/AC преобразователями в составе фотоэлектрических систем генерирования энергии, направленных на отбор максимально возможной мощности массива солнечных батарей;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** прямое и обратное преобразование abc-dq-координат, теория автоматического управления, теория искусственных нейронных сетей, методы имитационного моделирования;

изложены положения, направленные на разработку методики обучения искусственных нейронных сетей, которые базируются на использовании классической теории искусственных нейронных сетей;

раскрыты неточности математических моделей солнечной батареи в программном обеспечении Matlab Simulink, не позволяющие с высокой точностью воспроизвести реальные характеристики солнечной батареи;

изучены зависимости ряда параметров фотоэлектрических систем генерирования электрической энергии при различных изменениях вольт-амперных характеристик солнечной батареи;

проведена модернизация методики создания и обучения искусственной нейронной сети для задачи отслеживания точки максимальной мощности солнечных батарей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: методики создания и обучения искусственных нейронных сетей для использования в фотоэлектрических системах генерирования на базе полупроводникового преобразователя в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»; алгоритмы

управления инвертором напряжения, обеспечивающие отбор максимальной мощности от солнечных батарей, с помощью искусственных нейронных сетей в работах совместно с ООО «Системы постоянного тока».

определены перспективы дальнейшего практического использования результатов диссертационного исследования для фотоэлектрических систем генерирования на базе полупроводниковых преобразователей в виде рекомендаций, методик, математических и имитационных моделей, алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности, направленных на повышение энергетической эффективности данных систем;

создана система практических рекомендаций по применению разработанных моделей при проектировании фотоэлектрических систем генерирования, обеспечивающих различные режимы работы;

представлены рекомендации по использованию фотоэлектрических систем генерирования электрической энергии на базе полупроводниковых преобразователей, обеспечивающие их повышенную энергетическую эффективность.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением сертифицированного измерительного оборудования и характеризуются удовлетворительной воспроизводимостью и согласуются с результатами расчетов;

теория построена на известных, проверяемых данных, и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, а также на известных положениях математического анализа и основ электротехники;

идея базируется на анализе и обобщении результатов применения полупроводниковых преобразователей в составе фотоэлектрических систем генерирования электрической энергии, а также на передовом опыте исследований алгоритмов управления с использованием искусственных нейронных сетей;

использованы результаты сравнения авторских данных, полученных с применением разработанных математических и имитационных моделей, с данными экспериментальных и теоретических исследований, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором в результате математического и имитационного моделирования;
использованы современные методы сбора и обработки исходной информации, полученной в результате математического и имитационного моделирования, и физического эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит: в изложении и обобщении теоретических и практических результатов работы, разработке математических и имитационных моделей, разработке схемотехнических и алгоритмических способов управления полупроводниковыми преобразователями, обучении искусственных нейронных сетей, в проведении экспериментальных исследований, а также интерпретации полученных данных и формулировка выводов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о физике работы солнечных батарей и ее схемы замещения; непонятна цель использования температуры в качестве одного из входных параметров для искусственной нейронной сети; искусственная нейронная сеть является не системой управления, а ее вспомогательной частью; об ограниченных значениях освещенности при проведении эксперимента.

Соискатель Белова И.А. согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию на замечания: схема замещения солнечной батареи описывает ее физику работы с некоторой погрешностью, достаточной для имитационного моделирования различных систем; температура оказывает серьезное влияние на характеристики солнечной батареи, следовательно, является одним из основных параметров для обучения искусственной нейронной сети; искусственная нейронная сеть является ключевым звеном предложенной системы управления и является сигналом задания для работы стандартных блоков управления; в рамках проведения эксперимента были ограничения связанные с оборудованием имитирующим солнечное излучение.

На заседании 8 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные технические решения по повышению энергетической эффективности фотоэлектрических систем генерирования за счет использования искусственных нейронных сетей в системе управления полупроводниковыми преобразователями присудить Беловой И.А. ученую степень

кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель
диссертационного совета


Востриков Анатолий Сергеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Дыбко Максим Александрович

08 сентября 2022